

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE PAINÉIS “MDP” COM ADIÇÃO DE RASPAS DE PNEUS

DOI: 10.19177/rgsa.v9e1202079-95

David Cardoso Dourado¹

Rafael Biglia Diniz²

Ingrid Conceição dos Santos³

Ezaquel bednarczuk⁴

Jairo Afonso Henkes⁵

RESUMO

Este trabalho possui como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados produzidos com partículas da madeira de *Pinus spp.* em mistura com resíduos de borracha de pneus nas proporções de 6%, 12% e 18% de resíduos de pneus comparadas com o painel testemunha produzido puro com 100% de partículas de madeira. O experimento consistiu-se de quatro tratamentos com três repetições cada, totalizando 12 painéis. Os ensaios físicos realizados foram o de absorção de água e inchamento em espessura, massa específica aparente e teor de umidade, e os ensaios mecânicos foi o de flexão estática (MOE e MOR). Os tratamentos 12% e 18% foram os que apresentaram a maior densidade, com adição dos resíduos de pneu, ocorrendo um aumento na massa específica. Para o teor de umidade (TU) ocorreu uma diferença significativa nos tratamentos e os valores variaram de 9,10% a 11,16%. Dos valores do ensaio mecânico podemos analisar que o tratamento que apresentou maior módulo de elasticidade e de ruptura, foi o tratamento 18%. Conclui-se que é possível produzir painéis MDP com mistura de resíduos de pneus, pois os valores atendem as exigências das normas técnicas, além disso, promoveu melhora na propriedade física de absorção de água.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Borracha. *Pinus spp.*

¹ Mestre e Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras. Engenheiro Agrícola. Professor adjunto na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará / UNIFESSPA. Davidourado@unifesspa.edu.br.

² Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná UNICENTRO. Engenheiro Ambiental. rafaelbigliadiniz@gmail.com.

³ Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará / UNIFESSPA. Agrônoma. Bolsista Pibex. ingrid.santos.js9@gmail.com.

⁴ Graduação em Engenharia Industrial da Madeira pelo, Centro Universitário da Cidade de União da Vitória - UNIUV; graduação em Engenharia Ambiental, pela Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO; especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR; mestrado em Ciências Florestais, pela Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO. Engenheiro Ambiental. Bolsista. ziquebednarczuk@yahoo.com.br.

⁵ Doutorando em Geografia (UMinho, 2019). Mestre em Agroecossistemas (UFSC, 2006). Especialista em Administração Rural (UNOESC, 1997). Engenheiro Agrônomo (UDESC, 1986). Professor dos Cursos de Ciências Aeronáuticas, Administração, Engenharia Ambiental, do CST em Gestão Ambiental e do Programa de Pós Graduação em Gestão Ambiental da Unisul. E-mail: jairohenkes333@gmail.com

EVALUATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF "MDP" PANELS WITH THE ADDING OF TIRE SCRAPS

ABSTRACT

This work aims to evaluate the physical and mechanical properties of agglomerated panels produced with wood particles of *Pinus* spp. mixed with rubber tire residues in the proportions of 6%, 12% and 18% tire residues compared to the control panel produced pure with 100% wood particles. The experiment consisted of four treatments with three replicates each, totaling 12 panels. The physical tests were water absorption and swelling in thickness, apparent specific mass and moisture content, and the mechanical tests were static bending (MOE and MOR). The 12% and 18% treatments were the ones with the highest density, with the addition of the tire residues, with an increase in the specific mass. For the moisture content (TU) there was a significant difference in the treatments and the values ranged from 9.10% to 11.16%. From the values of the mechanical test, we can analyze that the treatment that presented the highest modulus of elasticity and rupture was the 18% treatment. It is concluded that it is possible to produce MDP panels with mixed waste tires, as the values meet the requirements of technical standards, in addition, promoted improvement in the physical property of water absorption.

Keywords: Solid waste. Rubber. *Pinus* spp.

1 INTRODUÇÃO

Painel aglomerado ou MDP (Densidade média painel de partículas) são produtos geralmente produzidos com pequenas partículas de madeira, as quais são aplicados adesivos (resina) sintético ou natural para que se obtenha a sua aglutinação. Essa mistura é consolidada por temperatura e pressão, formando assim o produto final, um painel aglomerado (WOOD HANDBOOK, 2010; MACIEL et al, 2004).

Para a confecção de painéis aglomerados, a princípio qualquer madeira pode ser usada, porém são as espécies de coníferas as mais empregadas, devido à baixa massa específica, e em menor escala madeira de folhosas de média podem ser utilizadas, porém necessitam ser misturada com espécies de baixa massa específica (IWAKIRI, 2005; SANCHES, 2012).

De acordo com Cloutier (1998) os quatro principais tipos de resinas atualmente empregados na indústria de painéis compostos à base de madeira são: ureia-formaldeído (UF), melamina-formaldeído (MF), fenol-formaldeído (FF), e difenil-metano-diisocianato (MDI).

O aglomerado é o painel mais consumido no mundo, podendo ser utilizado na indústria moveleira e marcenaria, na fabricação de móveis retilíneos (tampas de mesas, laterais de armários, estantes e divisórias) e, de forma secundária, na construção civil como forros, portas e pisos. (REMADE, 2013; ABIPA, 2013). Com o crescimento dos setores moveleiros e da construção civil aliado com os problemas ambientais causados por resíduos sólidos, surge a necessidade de se procurar novas opções de materiais para adicionar na produção desses tipos de painéis e outros materiais alternativos (MAXIMO., et al, 2018).

Além de contribuir para o atendimento da demanda de painéis, possibilitam um destino adequado aos resíduos que necessitam ser descartados que podem ser reaproveitados de maneira consciente e sustentável, na produção tanto de adesivos quanto de partículas, para a produção de novos painéis de madeira (ALMEIDA et al., 2012). Entre esses resíduos, podemos citar o pneu automobilístico fora de uso. Estima-se que 17 milhões de pneus são descartados por ano no Brasil, acarretando em problemas ambientais quando estes não são destinados corretamente já que possui um longo tempo de deterioração.

Porém a reutilização desse produto ainda é pouco empregada. Na saúde pública, o descarte inadequado de pneu produz um grave problema, principalmente em países de climas tropicais devido, à forma de descarte deste, servindo de criadouros para transmissão de vetores, como dengue, malária e febre amarela (DOURADO, 2015).

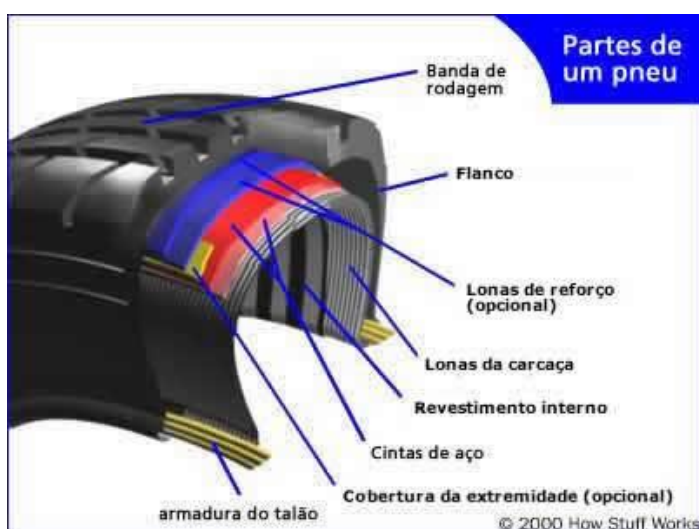
Os pneus são compostos basicamente por quatro partes, segundo Fapeming (2003, apud RODRIGUES; HENKES, 2015), sendo:

- Carcaça – parte interna do pneu, responsável por reter a pressão causada pelo ar e sustentar o peso do veículo. Possui lonas de poliéster, aço ou nylon.
- Talão – serve para acoplar o pneu ao aro. Possui uma forma de anel e é constituído de arames de aço, recobertos por borracha.
- Flancos – parte lateral do pneu e tem a função de proteger a carcaça, que é constituída de borracha com alto grau de elasticidade.

- Banda de rodagem – parte que entra em contato com o solo. Os desenhos formados nessa parte são chamados de esculturas. Possuem partes cheias e partes vazias e servem para otimizar a aderência com a superfície, sendo produzida com compostos de borracha altamente resistentes ao desgaste.

Estas partes estão demonstradas na figura 1 a seguir.

Figura 1: Composição e partes estruturais de um pneu



Fonte: Nice, 2014.

Os pneus têm um papel fundamental para as pessoas e para o país, seja no transporte de passageiros ou de cargas. Tornou-se mais importante nos países em desenvolvimento, visto que o transporte de produtos e mercadorias é feito por vias terrestres pavimentadas, principalmente por caminhões e carretas. Entretanto os impactos causados pelos pneus quando descartados incorretamente são catastróficos, um pneu descartado de forma inadequada na natureza leva em torno de 600 anos para se decompor segundo (SCAGLIUSI, 2011).

Quando são dispostos em locais inadequados, como lixões a céu aberto, rios, ou ao ar livre, além da poluição, contribuem para o acúmulo e moradia de animais e insetos, causadores de diversas doenças. Assim quando os pneus usados são dispostos em locais inadequados, estes servem como lugar para a procriação de mosquitos e outros vetores de doenças, representando também um constante risco de incêndio, quando são deixados ao ar livre, além de contaminar o solo (FREIRES, 2008, apud RODRIGUES; HENKES, 2015, p. 451-452).

De outro modo os pneus quando queimados, como acontece em diversos países, liberam gases poluentes e substâncias altamente tóxicas, podendo causar

intoxicações de toda sorte, mortes prematuras, deterioração das funções pulmonares, problemas de coração, depressão do sistema nervoso e central (MATTOS, 2006).

A borracha vulcanizada depois de queimada contamina o ambiente com carbono, enxofre e outros poluentes, como pode-se visualizar na figura 2.

Figura 2: Emissões de gases tóxicos pela queima de pneus



Fonte: Cahpi Consultoria & Serviços, 2013.

A queima de pneus é uma grande ameaça à contaminação do solo e dos lençóis freáticos, uma vez que os produtos tóxicos e os metais pesados liberados pela sua combustão podem durar até cem anos no ambiente (CAHPI CONSULTORIA & SERVIÇOS, 2013).

Uma alternativa viável para a reutilização de pneus é o aproveitamento da sua borracha para a produção de painéis à base de partículas de madeira agregando valor e proporcionando diferentes propriedades ao mesmo (VILELA, 2016, apud RODRIGUES; HENKES, 2015, p. 462)

No Brasil existe várias normas que abordam a destinação adequada para os pneus inservíveis, entre elas a Resolução 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 26 de agosto de 1999. Esta resolução determina as fábricas de pneus e às importadoras, metas de retirada de pneus do meio ambiente. Apresentava como meta inicial em 2002 a intenção de retirar do meio ambiente um pneu inservível para cada quatro pneus fabricados ou importados pelo país. Atualmente a meta é de que as empresas importadoras ou fabricantes de pneus têm que dar fim a quatro pneus inservíveis para cada três novos postos no mercado. Diante disso, uma das alternativas para utilização desse pneu inservível que retorna às fábricas é a utilização na construção de asfaltos e outros produtos como o que se trata no presente estudo (RODRIGUES; HENKES, 2015).

Existem outros processos de reutilização de pneus “velhos”, porém sem que estes voltem a rodar pelas estradas brasileiras, como é o caso da reciclagem, onde serão triturados e posteriormente cada material formador será encaminhado para um destino diferente. Segundo Bertollo (2002), o processo de reutilização de pneus inservíveis tem um custo alto, pois o pneu deve ser cortado e triturado, com a finalidade de separar e permitir a recuperação dos materiais utilizados inicialmente em sua fabricação.

De acordo com o Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP, os processos mais utilizados para a trituração de pneus são à temperatura ambiente ou com resfriamento criogênico. No Brasil o mais utilizado é a trituração à temperatura ambiente. (RODRIGUES; HENKES, 2015, p. 457)

Sendo assim, este trabalho teve por objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados produzidos com partículas da madeira de *Pinus spp.* em mistura com resíduos de borracha de pneus nas proporções de 6%, 12% e 18% comparadas com o painel testemunha produzido puro com 100% de partículas de madeira.

Entre outras alternativas de destinação de pneus inservíveis segundo Rodrigues; Henkes (2015, p. 460):

Hoje é notável a preocupação mundial com os problemas ambientais, as empresas estão cada vez mais buscando maneiras de reutilização dos materiais através da reciclagem, economizando assim, a matéria prima cada vez mais escassa na natureza. É com esta proposta e também com a economia em materiais, que as indústrias de asfalto estão buscando a utilização de pneus inservíveis como ligantes na fabricação de asfaltos, o chamado asfalto-borracha ou asfalto ecológico.

Ainda segundo Rodrigues; Henkes (2015, p 463), “Uma das formas de reutilização que a indústria de asfalto encontrou para a reutilização de pneus inservíveis foi adicioná-los aos componentes da massa asfáltica como material ligante na hora da produção do asfalto”.

Para o Ministério do Meio Ambiente (2016), a preocupação com os resíduos sólidos que já vem sendo discutida em âmbito nacional e internacional, devido a ampliação da consciência coletiva em relação ao meio ambiente, e em função do alto consumo de produtos descartáveis. Desta maneira as atuais demandas ambientais, sociais e econômicas são de uma complexidade que acabam induzindo a manifestação e posicionamento de governos e em especial da sociedade civil além da iniciativa privada.(ZAMPIER; HENKES, 2018).

A resolução 416/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009) estabelece normas para o correto descarte dos pneumáticos, considerando que os pneus inservíveis causam danos ao ambiente e a saúde da população.

Em 2007 a ANIP criou a RECICLANIP, organização que é voltada para a coleta e destinação de pneus inservíveis no país, sendo originária do Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis, desde 1999 é considerada uma das mais importantes do país, e segundo consta em seu site, reúne mais de 800 pontos de coleta no Brasil (ZAMPIER; HENKES, 2018).

De acordo com o site da RECICLANIP (2014, apud ZAMPIER; HENKES, 2018), no Brasil o início das atividades de fabricação de pneus foi em meados de 1936, com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha (Pneus Brasil) no seu primeiro ano de vida foram fabricados mais de 29 mil pneus, após isso este tipo de indústria foi crescendo e se desenvolvendo cada vez mais.

São muitos os tipos de pneus, pois sua aplicação se dá a diversos veículos, sendo encontrados mais comumente em automóveis, caminhões, ônibus, motocicletas e bicicletas. Já os pneus “especiais” são os utilizados em aviões, veículos de competição esportiva, tratores agrícolas e equipamentos de movimentação e construção (ZAMPIER; HENKES, 2018, p. 742).

Outra forma de uso dos pneus descartados, segundo a Beta Analytic (2016, apud ZAMPIER; HENKES, 2018), algumas fábricas de cimento utilizam pneus inteiros por possuírem unidades de combustão com um suporte compatível a eles, e além disso, as cintas de metal fornecem o aço necessário para fazer clínquer, todavia em contrapartida as fábricas de papel e celulose precisam usar ‘Combustíveis Derivados de Pneus’ CDP’s sem cintas de metal, pois assim evita-se a possibilidade de obstrução nas caldeiras ou introdução de aço às cinzas, que são vendidas para o setor agrícola. Estes CDP’s podem estar disponíveis em diferentes formas e níveis, e as variedades sem cintas de metal podem ter preço superior em até 50% a mais que os CDP’s convencionais.

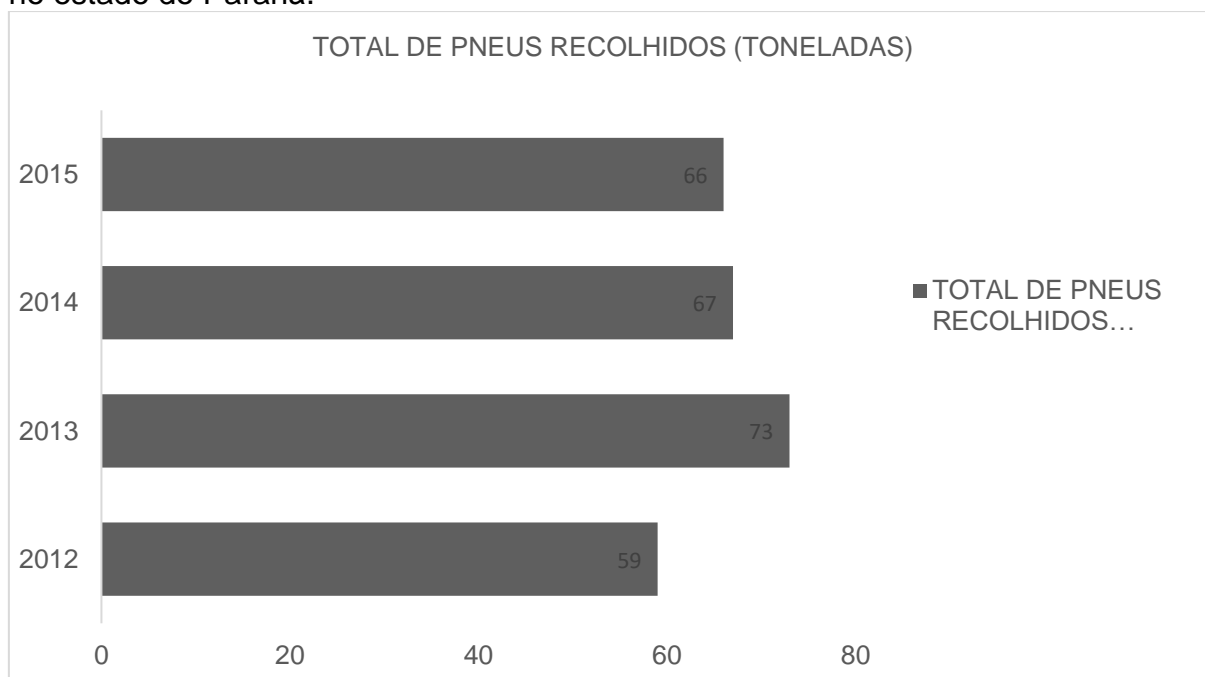
Conforme publicado pela ANIP (2016, apud, ZAMPIER; HENKES, 2018, p. 752), “foram coletados em 2014 aproximadamente 445 mil toneladas de pneus inservíveis, 10,15% a mais que no ano anterior. A quantia equivale à 89 milhões de unidades de pneumáticos de carros de passeio retirados das ruas, estradas e rios de todas as 27 capitais brasileiras”. Em vista desta perspectiva com tantos pneus

descartados/ano, em cerca de nove anos o Brasil descartou aproximadamente 2,1 milhões de toneladas de pneus neste período.

“Como se pode perceber apenas uma pequena parte desse número enorme foi retirado do ambiente, entretanto para se coletar e receber pneus são necessários pontos de coleta” (ZAMPIER; HENKES, 2018, p. 752).

Diversos organismos públicos realizam ações em função destas estratégias de logística reversa e reutilização de pneus inservíveis, como é o caso da Secretaria do Meio Ambiente e de Recursos Hídricos do Paraná (2016, apud ZAMPIER; HENKES, 2018), que afirma que os paranaenses não têm motivos para descartar os pneus de modo irregular no ambiente, pois o governo do Estado juntamente com o setor produtivo (fabricantes e importadores), em 2012, assinou um termo em que se compromete a coletar e dar destinação adequada a esses materiais. Desde a assinatura deste protocolo, mais de 265 mil toneladas de pneus sem condições de uso foram retirados do território, sendo uma média de 60 mil de toneladas por ano, conforme demonstrado na figura 3.

Figura 3 - total de toneladas de pneus recolhidos, de 2012 até 2015 no estado do Paraná.



Fonte: Adaptado de Governo do Estado Do Paraná, Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2016.

Como pode ser percebido na figura 3, o número de pneus recolhidos no estado do Paraná entre 2012 e 2015, apesar de algumas oscilações, manteve-se em números semelhantes, que pode ainda ser ampliados com o passar dos anos, em

função do crescimento populacional e sobretudo do aumento no número de veículos em trânsito (ZAMPIER; HENKES, 2018).

2 MATERIAL E MÉTODOS

As partículas da madeira foram concedidas pela empresa Repinho – Reflorestadora madeiras e compensados LTDA, localizada na cidade de Guarapuava Paraná. A matéria prima doada, de forma já tritura, foi disposta em caixas e levadas a estufa com temperatura $103^{\circ}\text{C} \pm 2$ por 24 horas até atingirem teores de umidades próximo a 3%.

Quanto as raspas ou partículas de pneu, estas, foram cedidas por uma fábrica reformadora de pneumáticos localizada na cidade de Irati-PR. Os resíduos de borracha foram provenientes da raspagem dos pneus para a recauchutagem. Logo em seguida, as partículas de pneumáticos, passaram por uma sequência de peneiras, com granulometrias distintas (3,35 mm, 2,36 mm e 600 μm).

Para a produção dos painéis aglomerados avaliados, foram utilizados os resíduos com diâmetros inferiores a 600 μm , ou seja, os resíduos que passaram na malha da peneira de 600 μm . Logo em seguida, o material foi pesado com auxílio de uma balança analítica e separado nas proporções estabelecidas.

O experimento consistiu em 4 tratamentos com 3 repetições cada, totalizando 12 painéis. As partículas provenientes de resíduos de exploração florestal foram misturadas com aglomerados de resíduos de pneus (<600 μm) nas proporções de 6%, 12% e 18%, nos quais foram comparados com a testemunha (T1), confeccionado de forma pura, 100% de partículas de *pinus spp*.

O experimento foi elaborado visando avaliar a influência da adição de diferentes proporções de raspas de pneu sobre as propriedades dos painéis MDP, no delineamento inteiramente casualizado (DIC) constituído em quatro tratamentos com três repetições, totalizando 12 painéis, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Tratamentos testados no experimento

Tratamento	Composição no painel (%)*		Repetições
	Partículas de	Raspas de pneu	
1	100	0	3
2	94	6	3
3	88	12	3
4	82	18	3
Total de painéis			12

Notas: *: Percentual com base na massa seca das partículas de madeira.

A massa específica nominal dos painéis foi estabelecida em $0,65 \text{ g/cm}^3$ e utilizou-se resina de uréia-formaldeído, na proporção de 12%, e parafina na proporção de 0,5%, de sólidos sobre peso seco de partículas. Como catalisador, foi utilizado sulfato de amônia – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, na proporção de 2% de sólidos sobre o peso seco de adesivo. Após a encolagem, as partículas foram distribuídas manualmente em uma caixa formadora de 50 x 50 cm, numa quantidade calculada para um painel de 13 mm de espessura. Em seguida, o colchão de partículas passou pela pré-prensagem para fazer sua compactação e, por fim, este foi conduzido à prensa de pratos com aquecimento elétrico, a uma temperatura de $180 \text{ }^\circ\text{C}$ e pressão de 25 Kgf/cm^2 por um tempo de 10 min.

A pressão de 25 Kgf/cm^2 foi utilizada pois foi a pressão que proporcionou obter os painéis produzidos com 12% de raspas de pneus (painel correspondente à proporção intermediária de raspas de pneu) com a massa específica aparente igual à nominal. Após a manufatura, os painéis foram conduzidos à câmara de climatização com condições ambientais controladas ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5 \%$), por um período de 20 dias, até sua estabilização, para posterior análise das propriedades físico-mecânicas (massa específica aparente, teor de umidade, absorção d'água para 2 e 24 h, inchamento em espessura para 2 e 24 h, MOR e MOE em flexão estática e ligação interna) conforme a norma ASTM D 1037 (2006).

Satisfeita esta prerrogativa, os valores foram submetidos à análise de variância, aplicando o Delineamento inteiramente casualizado, a fim de verificar se ocorreram diferenças ao nível de 5% de probabilidade de erro, as médias foram submetidas ao teste de Tukey.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A legislação brasileira determina que os resíduos de pneus devem ser corretamente armazenados e descartados, garantindo que a sustentabilidade esteja em primeiro lugar, que o meio ambiente não seja danificado e o produto seja usado para outras finalidades, pois quando termina a vida útil dos produtos, em específico de pneus, a logística reversa pode (e deve) estar presente, pois sua função é devolver o produto aos fabricantes primários para introduzi-lo

novamente em seu ciclo de produtivo ou em outros. Portanto é fundamental identificar a ligação direta entre a legislação e a logística reversa, garantindo maior sustentabilidade, pois está claro que a legislação determina o processo reverso da logística (ZAMPIER; HENKES, 2018).

Com a realização do experimento utilizando-se as partículas de madeira disposta em caixas e levadas a estufa com temperatura $103^{\circ}\text{C} \pm 2$ por 24 horas até atingirem teores de umidades próximo a 3%. Estas foram misturadas às raspas de pneu, resíduos de borracha que se originaram da raspagem de pneus para a recauchutagem. Este experimento foi elaborado visando avaliar a influência da adição de diferentes proporções de raspas de pneu sobre as propriedades dos painéis MDP, e são demonstrados nas tabelas e figuras a seguir, na tabela 2 demonstram-se os valores médios referentes à massa específica aparente (MEA) e teor de umidade (TU) dos painéis.

Tabela 2 - Valores médios para a massa específica aparente, teor de umidade e espessura

TRATAMENTO	MEA	TU	E
T1	0,49 c	11,16 a	14,4 a
T2	0,59 a	10,26 b	12,27 b
T3	0,62 a	9,54 c	12,05 c
T4	0,55 b	9,10 d	12,42 c

MEA: Massa Específica Aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); TU: Teor de umidade (%); E: Espessura (mm). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Levando em considerações a análise estatística, observa-se que houve diferença significativa para massa específica aparente. Podemos analisar que o tratamento 2 e 3, foram que apresentaram a densidade maior, com adição dos resíduos de pneu, houve um aumento na massa específica. O tratamento que apresentou menor massa específica foi o T1, porém foi o que apresentou a maior média de espessura.

Desta forma, tomando-se como referência a NBR 14810 (2013), os T2, T3 e T4 foram considerados como de média massa específica, em função de estar dentro do intervalo de 0,551 a 0,750 g/cm^3 , o T1 foi considerado como de baixa massa específica quando comparado aos demais, pois apresenta MEA inferior a 0,551 g/cm^3 .

A variação da massa específica ao longo do painel provém de diversos fatores como a distribuição manual das partículas para a formação do colchão e a possível

diferença da massa específica da matéria prima entre as partículas da mesma madeira (HILLIG, 2000).

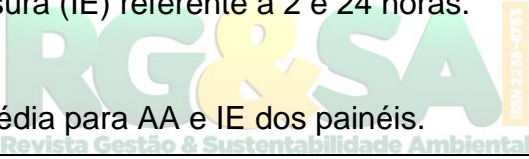
Para TU ocorreu uma diferença significativa nos tratamentos e os valores variaram de 9,10% a 11,16%. Podemos observar que a relação entre a concentração de pneu e TU são inversamente proporcionais, ou seja, com o aumento da porcentagem de pneus, houve uma diminuição no teor de umidade.

Os valores apresentados neste trabalho (tabela 2) são maiores que os resultados apresentados por Sanches (2012) que avaliou a qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de quatro espécies florestais, os valores variaram de 6,67 % a 9,10%.

Segundo Weber (2011) a variação do teor de umidade dos painéis ocorre devido inicialmente às partículas serem secadas e posteriormente serem submetidas a altas temperaturas durante o processo produtivo, ocasionando danos à estrutura anatômica levando a perda de água de constituição.

A Tabela 3 apresenta os valores médios referentes à absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE) referente a 2 e 24 horas.

Tabela 3 – Teste de média para AA e IE dos painéis.



TRATAMENTO	AA 2H	AA 24H	IE 2H	IE 24H
T1	84,7050 a	99,3050 a	7,9283 a	27,7250 a
T2	60,2367 b	69,0700 b	10,9483 a	29,6083 a
T3	62,2367 b	69,5200 b	10,2500 a	31,3167 a
T4	65,7333 b	76,1333 b	10,1650 a	34,7650 a

AA: Absorção de água referente a 2 horas e 24 horas (%); IE: Inchamento em espessura (%). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com análise estatística, podemos analisar que os painéis produzidos com partículas de borracha apresentaram valores médios de absorção de água, durante 2 e 24 horas, inferiores aos painéis produzidos com partículas de madeira, ou seja, com adição de resíduos de pneus, houve uma diferença significativa em comparação aos painéis produzidos com partículas de madeira, porém as porcentagens de resíduos de pneus não apresentaram diferença significativa. De acordo Vilela (2016) estes resultados podem ser explicados pela substituição de um

material higroscópico (partículas de madeira), por um material hidrofóbico (partículas de borracha).

Para inchamento em espessura de 2 horas e 24 horas, os resultados não apresentaram diferença significativa.

Em relação ao atendimento aos critérios das normas de qualidade, verifica-se que quanto ao inchamento 24 horas, todos os tratamentos se enquadram nas normas CS 236-66 (1968) que estabelecem valores máximos de 35%. No entanto, em relação à norma NBR 14810 (2013) que estabelece inchamento máximo de 18%, não houve o enquadramento de nenhum tratamento.

Os valores obtidos nesta pesquisa para absorção de água em 2 horas e 24 horas são inferiores aos descritos por Almeida (2010), que obteve 105,4% e 127,5%, analisando painéis produzidos com partículas de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e tanino extraído do *Pinus oocarpa*.

No experimento realizado por Vilela (2016), os painéis produzidos com partículas de borracha, apresentaram valores médios de absorção de água, durante 2 e 24 horas, inferiores aos painéis produzidos com partículas de madeira. O melhor resultado para a propriedade de absorção de água durante 2 horas foi obtido para com tratamento contendo 15% de borracha, que apresentou valor médio de 26,83%. Para AA durante 24 horas, os valores médios variaram na faixa de 28,64% (15% de borracha) a 32,06% (0% de borracha).

A Tabela 3 apresenta os valores médios referentes à flexão estática, a qual é analisada pelo módulo de elasticidade (MOE) e pelo módulo de ruptura (MOR).

Tabela 4 – Teste de Média para Flexão estática

TRATAMENTO	MOE	MOR
T1	221,4000 b	1,5050 b
T2	280,5733 b	1,3425 b
T3	694,5667 a	3,4217 a
T4	221,4000 b	1,2092 b

MOE: Módulo de elasticidade (MPa); MOR: Módulo de ruptura (MPa). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Conforme os dados apresentados na tabela 4, podemos analisar que o tratamento que apresentou maior módulo de elasticidade e de ruptura, foi o tratamento 3, apresentando 694,5667 MPa para MOE e 3, 4217 MPa para MOR.

Comparando os valores encontrados para MOE e MOR com os valores aceitáveis propostos por Wood Handbook (1987), que são de 1 700 – 4800 MPa e 11 – 20,5 MPa, respectivamente, identifica-se que os tratamentos não atenderam às recomendações para MOE e MOR.

Quando se compara estes resultados a norma CS 236-66 (1968) que estabelece o valor mínimo de 11 e 2403 MPa para MOR e MOE, relata-se que nenhum tratamento atendeu a exigência descrita na mesma.

Macedo (2008), utilizando as proporções 0, 15, 30 e 45% de resíduos de pneus na produção de painéis, observou em seu experimento que a adição das partículas de borracha não apresentou diferença na massa específica aparente e melhorou a estabilidade dimensional, porém, com maiores teores de resíduos obteve redução da massa específica, módulo de ruptura e módulo de elasticidade.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se com o experimento realizado que é possível produzir painéis MDP com mistura de resíduos de pneus, pois os valores atendem as exigências estabelecidas nas normas. Comprovou-se que com a adição de resíduos de pneus (raspas), ocorreu uma melhora nas propriedades físicas de AA e uma indiferença referente ao IE. Demonstrou-se ainda que quanto maior foi à proporção de raspas de pneus no painel, menor foi à absorção de água, verificando-se outro ganho ambiental no processo produtivo, com o uso destes resíduos.

Outra medida interessante seria a criação de locais adequados para o descarte dos pneus inservíveis para depois serem recolhidos por empresas especializadas em sua reciclagem, sendo comercializados sob forma de diversos materiais que são retirados dos pneus, para empresas que os reutilizam e em especial para os agregados e aglomerados em madeira

Quanto às propriedades mecânicas, foi possível observar que o tratamento que adicionou em sua composição 12% de borracha, foi o que apresentou as melhores propriedades mecânicas quando comparado aos demais. A mesma porcentagem apresentou os melhores resultados para as propriedades físico-mecânicas. Porém, a pressão empregada não foi a ideal, o que resultou na influência nas propriedades

mecânicas dos painéis MDP, ocasionada muito provavelmente pela pressão insuficiente que foi aplicada.

No entanto, o presente trabalho demonstrou uma melhoria nas propriedades físicas do MDP com adição de raspas de borracha, portanto torna-se necessário e se recomenda a realização de mais pesquisas sobre o tema, em especial sobre a granulometria e a dosagem ideal de partículas de borracha de pneus na composição final do MDP, objetivando garantir melhor qualidade no produto e melhor retorno financeiro e ambiental possível.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. E., et al. Painéis de madeira aglomerada produzidos com serragem e poliestireno expandido. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p.189-200, jan. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: chapas de madeira aglomerada: parte 1: terminologia. São Paulo. 5 p. 2006.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of woo-base fiber and particle panel materials**, D 1037 – 06a. Philadelphia, PA. 2006.

BERTOLLO, S.A.; FERNANDES JUNIOR, J.L. **Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos**. São Carlos, SP: Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2002.

CAHPI CONSULTORIA & SERVIÇOS. **Emissões de gases tóxicos pela queima de pneus**. Disponível em: <<http://www.cahpiconsultoria.com.br/index.php/servicos/>> Acesso em: 10 set 2014.

CLOUTIER, A. Oriented Strand Board (OSB): Raw material, manufacturing process, properties, and uses. In: Seminário Internacional sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia e Encontro sobre Tecnologia Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização da Madeira de Eucalipto, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte, p. 173-185. 1998.

COMMERCIAL STANDARD. Mat formed wood particleboard. **CS 236-66**. 1968.

DOURADO, D.C. Estudo de fibrocimento com resíduos de pneu. 2015. 83p. **Tese (Doutorado)** – Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

FAPEMING. Reciclagem de pneus. Tese. PUC/RJ. 2003. Disponível em: <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0212208_04_cap_03.pdf>
Acesso em 23 mar. 2020.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p., 2010.

HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de pinus, eucaliptos e acácia-negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído. 2000. 96 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2000.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-ureia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p.323-328. 2005b.

MACEDO, D. G. Compósitos de serragem de madeira e resíduos de recauchutagem de pneu. 2008. 144 p. **Tese** (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MACIEL, A. S. et al) . Painéis de partículas aglomeradas de madeira de pinus elliotii engelm poliestireno (ps) e polietileno tereftalato (pet. *Rev. **Árvore*** [online]. vol.28, n.2, pp.257-266. ISSN 0100-6762. 2004.

MATTOS, Marluza. **Pneu velho, problema novo**. Junho 2006. Disponível em: <<http://www.terrazul.m2014.net>> Acesso em: 27 mar 2020.

MAXIMO, G.W.S., et al. A cadeia de suprimentos na indústria de pellets de madeira, sob a perspectiva da metodologia multicritério construtivista: um estudo de caso no planalto norte catarinense. **Revista gestão & sustentabilidade ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 3, p.3-20, jul/set. 2018.

NICE, Karim. **Como os pneus são feitos**. 2014. Disponível em: <http://carros.hsw.uol.com.br/pneus1.htm>. Acesso em: 02 mar 2020.

RECICLANIP, Evolução dos Pontos de Coleta. Disponível em: <

<http://www.reciclanip.org.br/v3/pontos/evolucao>> acesso em 28 mar 2020.

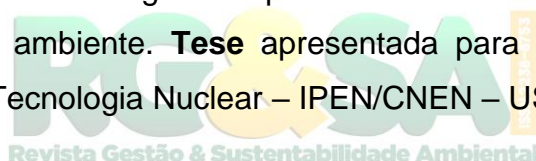
RECICLANIP, O Que São Pontos de Coleta de Pneus. Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/v3/pontos-de-coleta-o-que-sao>> Acesso em: 28 mar 2020.

REMADE. **Revista da Madeira**: Painéis de madeira MDP e MDF – mercado e competitividade. Edição nº 136. Julho, 2013.

SANCHES, F. L. Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de quatro espécies florestais. 2012. 93 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, 2012.

RODRIGUES, Cristiano Milani; HENKES, Jairo Afonso. RECICLAGEM DE PNEUS: ATITUDE AMBIENTAL ALIADA À ESTRATÉGIA ECONÔMICA. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. Florianópolis. (2015). v.4, n.1, p. 448-473, abr./set.2015. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/2937/2098> Acesso em: 20 mar. 2020.

SCAGLIUSI, Sandra R. Reciclagem de pneus inservíveis: alternativa sustentável à preservação do meio ambiente. **Tese** apresentada para a obtenção do título de doutora em ciências. Tecnologia Nuclear – IPEN/CNEN – USP. São Paulo, 2011.



VILELA, A. P. Utilização da borracha de pneu para produção de painéis mdp e cimento-madeira. 2016. 105p. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG. 2016.

WOOD HANDBOOK: Wood as an engineering material. Washington, DC. US. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, 1987. (revisado). (Agriculture Handbook, 72), 1987.

ZAMPIER, Cristiane; HENKES, Jairo Afonso. PNEUS INSERVÍVEIS: UM ESTUDO SOBRE A LEGISLAÇÃO E INTERFACE COM A LOGÍSTICA REVERSA E SUSTENTABILIDADE. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. (2018). V.7, n. 4. Disponível em:< http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/7301/4228 > Acesso em: 20 mar. 2020.